

# 압착식 동관 피팅기의 설계 적정성 검토에 관한 연구

## A Study on the Appropriateness of Design of Compressed Copper Tube Fitting Machine

김창우\* · 정지현\*\*\*  
Chang-Woo Kim\* and Ji-Hyun Jeong\*\*\*

(Received 01 February 2023, Revised 23 February 2023, Accepted 24 February 2023)

**초록 :** 압력 유체의 이송에 사용되는 배관은 높은 수준의 내식성, 열전도성 및 기계적 특성이 필요하다. 이러한 조건을 만족하는 대표적인 배관은 동관으로 일반 산업계에서 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 공조 냉동기의 냉매 배관으로 사용되는 동관 접합 방식의 인화성 문제를 개선하고자 한다. 기존 동관 산소용접을 대체할 무용접 이중 압착식 이음 방법을 대안으로 제안한다. 제안된 방식은 3D 모델링으로 구현하고, 시뮬레이션은 벤딩 전용 해석 프로그램인 Deform 3D를 사용한다.

**키워드 :** 인화성 문제, 동관, 응력, 변형량

**Abstract :** Piping for transporting pressurized fluids requires high levels of corrosion resistance, thermal conductivity and mechanical properties. A representative piping with these characteristics is copper pipe, which is widely used in the industry. In this study, we intend to improve the joining method of copper tubes using refrigerants, which have a flammable problem in air-conditioning refrigerators. We propose a non-welding double compression bonding method to replace the existing copper pipe oxygen welding. The proposed bonding method was implemented with 3D modeling, and the characteristics of the copper pipe crimping part were verified through Deform 3D, an analysis program dedicated to bending.

**Key Words :** Flammability Problem, Copper Tube, Stress, Deformation Amount

### 1. 서 론

동관(copper pipe)은 강관에 비해서 표면이 매끄러워 유체의 마찰 저항이 적고, 장기간 사용해도 부식에 의한 동관 내부 표면이 거칠어지거나 부식물이 부착되는 경우가 적어 유체마찰 손실이 낮은 특징을 가지고 있다. 또한 높은 열전도성 및

뛰어난 내구성, 그리고 제작의 용이성 때문에 각종 배관 및 건물에 널리 사용되고 있다. 이러한 동관의 특성에 더하여 높은 신축성과 낮은 열변형률을 가지고 있어 가압 유체인 공기, 윤활유 및 냉동기의 냉매 등을 이송하기 위한 매개체로 광범위하게 활용되고 있다.<sup>1,2)</sup>

냉매의 종류로는 할로카본(Freon), 탄화수소

\*\*\* 정지현(<http://orcid.org/0000-0002-1585-2295>) : 교수, 제주대학교 기계공학전공

E-mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*김창우(<http://orcid.org/0000-0002-3553-8383>) : 교수, 한국해양수산연수원

\*\*\* Ji-Hyun Jeong(<http://orcid.org/0000-0002-1585-2295>) : Major of Mechanical Engineering, Jeju National university. E-mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*Chang-Woo Kim(<http://orcid.org/0000-0002-3553-8383>) : Education Planing Division, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology.

(Hydrocarbon), 암모니아(Ammonia), 물(H<sub>2</sub>O), 공기(Air) 등으로 다양하지만 가정용 및 자동차의 에어컨이나 냉장고 등에 사용되는 냉매는 HCFC(수소화염플루오린화탄소), HFC(수소불화탄소) 계열 냉매가 전체 냉매 사용량의 대부분을 차지하고 있다. 하지만 전 세계적인 지구온난화물질 규제(몬트리올 의정서 키갈리 개정안)가 본격화되면서 HFO(수소불화올레핀) 계열의 냉매가 대체재로 확대되고 있다.<sup>3,4)</sup> 그러나 대기 중에서 수명이 짧고 환경에 끼치는 영향이 적은 HFO 계열의 냉매는 인화성 문제 및 불안정성에 대한 우려가 있으며, 환경문제에서도 완전히 자유롭지 못한 것이 현실이다.

공조 냉동기의 냉매 이송용으로 사용되는 동관의 이음 부분에 관한 연구는 대부분 응력(stress)과 크랙(crack) 분석 등에 국한된다. 따라서 인화성 문제가 있는 냉매를 사용하는 산업 현장에서는 동관 이음에 주로 사용되는 산소용접에 의한 가공 방식이 여전히 해결되어야 할 문제로 남아 있다.

본 연구에서는 공조 냉동기에서 냉매의 이송용으로 사용되는 동관의 이음 방법의 인화성 문제가 있는 기존의 산소용접 방식을 대체할 수 있는 무용접 이음 압착식 이음 방법을 제안한다. 3D 모델링을 통해 압착식 이음장치를 구현하고, 시뮬레이션을 통해 동관 압착부의 특성을 검증한다. 시뮬레이션은 벤드 전용 해석 프로그램으로 사용되는 Deform 3D를 사용한다. 압착력을 발생시키는 롤러(roller)의 10단계 형상에 따른 이단 압착된 동관의 변형량과 접촉부 응력 등을 일단 압착된 동관과 비교·분석한다.<sup>5,6)</sup>

## 2. 장치 설계조건 및 모델링

### 2.1 장치 피팅시스템 설계

본 연구에서 제안된 냉매 이송용 동관의 무용접 이음을 위한 이음 압착식 동관 피팅기의 설계는 Fig. 1과 같이 압착부(press part), 회전부(rotating part) 그리고 고정부(fixing part)로 구성되어 있다. 동관의 굽기에 따라 적절한 형상의 롤러로 교체 적용이 가능하도록 롤러 교체형으로 설

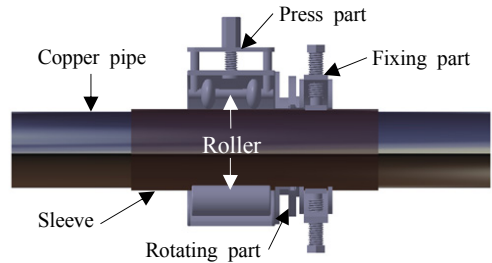


Fig. 1 Fitting system with sleeve and pipe

계하였다. 먼저 압착부는 이음이 필요한 두 개의 동관을 초기 단계에서 압착한다. 그리고 일차적으로 압착된 두 개의 동관 상부에 슬리브를 끼워 넣은 후 슬리브를 다시 압착하는 용도로 사용된다.

동관 및 슬리브를 압착하기 위해 롤러와 직결로 연결된 롤러 지지부 상단에 설치된 육각볼트를 조정하여 상부 롤러가 하부 롤러에 대해 수평을 유지하며 직선 왕복운동을 할 수 있도록 설계하였다. 롤러는 변형, 파손 또는 동관의 굽기에 따라 적절한 형상이 요구되는 경우 등 롤러의 교체가 필요한 경우, 교체 작업이 용이하도록 롤러 지지부에 탈부착할 수 있도록 설계하였다. 또한 롤러는 동관 압착 시 발생하는 동관과의 마찰력이 최소화되도록 롤러의 내부에 베어링을 삽입하여 롤러가 롤러 지지부에 대해 회전할 수 있도록 하였다.

회전부는 고정부와 압착부 사이에 위치하며 원활한 회전을 위해 회전 원판과 연결된 압착부, 회전 원판과 연결된 고정부로 설계하였다. 회전 원판은 회전 외판의 내측에서 360° 회전 동작이 가능하도록 설계하였다. 회전부가 움직이며 동관을 압착하게 되면 압착부는 고정부에 대해 동관의 회전을 중심으로 작동하며, 회전부는 고정부를 기준으로 압착부와 같이 회전하도록 설계하였다.

고정부는 상단 및 하단의 양단에 고정판을 설계 슬리브나 동관이 압착되는 과정에서 위치변동 없이 고정될 수 있도록 설계하였다. 고정부 상하 양단의 고정판은 슬리브 및 동관 표면이 손상되거나 변형되지 않도록 쿠션이 부착된 아치형(arch form) 육각볼트를 이용하여 고정판의 압착력을 조정할 수 있도록 설계하였다.

본 연구에서 제안하는 이단 압착식 동관 피팅 시스템은 다단 공정으로 나누어 동관 및 슬리브를 회전 압착시킨다. 우선 접합하고자 하는 두 개의 동관을 각각의 피팅기 롤러를 이용하여 회전 압착 시키면 롤러의 형상에 따라 각 동관에 두 개의 반원형 홈이 만들어진다. 압착공정에 의해 반원형 홈이 만들어진 두 개의 동관을 슬리브의 양쪽으로 각각 삽입하여 접촉시킨 후 동관의 반원형 홈이 있는 위치에 맞춰 롤러의 위치를 설정한다. 다음으로 슬리브의 외관을 피팅기 롤러를 이용하여 회전 압착한다. 이러한 다단 공정을 거치게 되면 동관의 반원형 홈 상부에 슬리브를 압착시켜 동관의 외부 반원형 홈과 슬리브의 압착으로 만들어지는 슬리브 내부 반원형 홈이 서로 가압 접촉되고 접촉부의 접촉력과 접촉면적을 증가시킬 수 있게 된다.

**2.2 동관 재료의 물성 및 실험조건**

본 연구에서 사용하는 인탈산동은 고순도의 원 재료를 용해한 뒤 용융 동 중의 금속 안에 녹아있는 산소를 제거하여 인(P)으로 탈산시켜 산소함유량을 200 ppm 이하로 관리함으로써 전연성, 내식성, 열전도성, 용접성 그리고 가공성 등이 뛰어난 제품이다. 이러한 특성이 있는 인탈산동은 열전도성이 높기 때문에 가스관, 열교환기 등의 열전도

Table 1 Mechanical properties and chemical composition of material

Mechanical properties		Chemical composition				
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Hardness (HR30T)	Cu	P	Fe	Pb	Si
315.0	50.1	99.950	0.023	0	0	0

Table 2 Experimental conditions

	Copper pipe	Sleeve
Material	Cu	Cu
Diameter (mm)	Ø 15.88	Ø 17.40
Thickness (mm)	0.70	0.70
Deform depth (mm)	1.00	1.00

성이 높은 부품에 주로 사용된다. 또한 낮은 부식성과 가공성과 용접성이 좋기 때문에 유압장비 계통이나 공압장치 계통들의 제어 라인(control line) 등에 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 이음매가 없는 인탈산동관으로 KS 소재 규격인 외경 15.88 mm, 두께 0.70 mm를 사용하였다. 슬리브는 외경 17.40 mm, 두께 0.70 mm를 사용한다. 재료의 화학성분과 기계적 성질은 Table 1로 나타내며, 시뮬레이션 조건은 Table 2의 조건으로 진행한다.

**2.3 벤딩장치의 유한요소 모델**

본 연구에서 설계한 이중 압착식 동관 피팅기의 유한요소 모델은 Fig. 2와 같이 나타난다. 동관은 직선 원통형의 기하모델이지만 해당 모델에 대한 해석 시간을 단축시키기 위해 대칭되는 모델의 절반만 설계하였다. 장비의 동관과 슬리브는 yz면을 기준으로 하여 좌·우로 대칭성을 가지므로 대칭면(symmetry plane)을 설정하여 한쪽에서만 유한요소모델을 만들어 해석하였다(요소수 : 300,000개, 메쉬타입 : tetrahedral mesh). 유한요소 해석에 사용한 소프트웨어는 벤딩 전용 해석 프로그램인 Deform 3D를 이용하여 FEM(Finite Element Method)을 수행하였다.

Fig. 2는 1차로 동관을 압착한 후 압착된 동관을 슬리브 내부에 삽입한 상태로 2단 압착 공정을 한 준비단계를 나타낸다. 슬리브가 롤러에 의해 압착되는 공정기간에 슬리브 하단은 하부 롤러에 지지되므로 슬리브의 압착부 근처에 고정부를 위

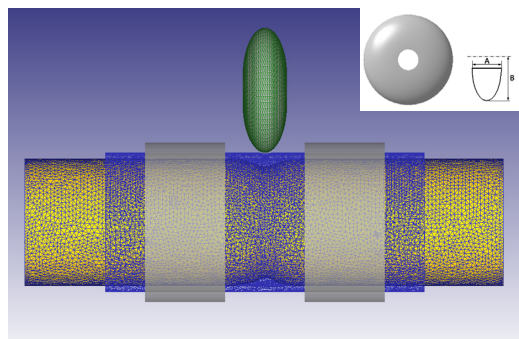


Fig. 2 Modeling of fitting unit

Table 3 Material properties of model

Material	C1220
Young's modulus (MPa)	264
Poisson's ratio	0.38
Thermal expansion coefficient	1.3E-4

설계하여 압착부의 변형만 유도하도록 하였다. 롤러는 동관 및 슬리브의 외곽 형상을 따라 압착 공정 동안 회전하면서 z축을 따라 이동되도록 설정하였다. 압착공정 시 변형되지 않는 고정부의 요소들은 강체(rigid body)로 설정하였고, 유한요소해석에 사용된 동관의 물성값은 Table 3에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 인탈산동관은 물리적 특성상 외력에 의해 급격한 변형이 발생하는 경우 예상되는 형상과 다르게 나타날 가능성이 높기 때문에 동관이 서서히 변형될 수 있도록 변형단계를 총 100단계로 나누어 시뮬레이션하였다. Fig. 2의 롤러 형상 중 A(5.5 mm)는 고정치수로 하고 B를 3.0~12.0 mm까지 롤러의 형상을 10가지로 바꾸어가면서 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 A는 롤러의 3D 형상을 만들기 위해 단면으로 표현된 롤러 타원의 가로길이이고, B는 롤러 타원의 회전중심에서 꼭짓점까지의 직선 길이이다.

Table 4 Contact part displacement of deformed copper pipe

Length of B (mm)	Contact Part Displacement (mm)	
	first-order deformation	second-order deformation
3	0.58	0.65
4	0.62	0.63
5	0.58	0.61
6	0.59	0.60
7	0.56	0.59
8	0.57	0.58
9	0.56	0.58
10	0.57	0.58
11	0.53	0.57
12	0.56	0.57

먼저 제안하는 압착 피팅시스템의 공정순서에 따라 일차 압착된 동관을 슬리브에 삽입 후 10가지 롤러 형상으로 슬리브를 단계별 압착시킨 시뮬레이션 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 일차 압착된 동관의 변형된 길이는 a1~j1이고, 이차 압착으로 변형된 동관의 길이는 a2~j2로 최대 변형 길이를 Table 4에 나타내었다.

1차 압착과 2차 압착 사이에 변형된 길이의 변화 차이는 롤러 타원 단면의 길이 B가 작을수록 크게 나타났다. 이것은 본 저자가 이전 실험에서 분석<sup>6)</sup>했던 롤러 끝단의 곡률이 작아질수록 압착된 동관과 슬리브의 접촉 길이가 짧아진다는 결과와 부합하여 접촉 길이가 길어질수록 최대 변형 길이도 늘어남을 확인할 수 있었다.

Fig 4는 동일한 조건으로 시뮬레이션한 결과로 변형된 동관에 작용하는 응력효과를 나타내었고, 최대응력을 Table 5에 나타내었다. 일차 압착과 2차 압착에 대한 응력의 차이는 롤러 타원 단면의 길이 B가 작을수록 작게 나타났고, 2차 압착은 슬리브 내면으로부터의 압착이기 때문에 응력변화는 크게 차이 나지 않았다. 이 결과는 롤러의 타원 단면 B의 치수가 작을수록 롤러의 형상이 작아지며 A가 고정 치수이기 때문에 롤러 끝단의 곡률이 커지는 롤러 형상의 특성에 영향을 받아

Table 5 Contact part maximum stress of deformed copper pipe

Length of B (mm)	Maximum stress (MPa)	
	first-order deformation	second-order deformation
3	79.03	80.80
4	79.90	81.70
5	85.00	82.20
6	83.10	82.60
7	84.90	82.40
8	90.60	82.90
9	88.60	83.10
10	101.00	83.20
11	99.90	83.20
12	85.00	83.40

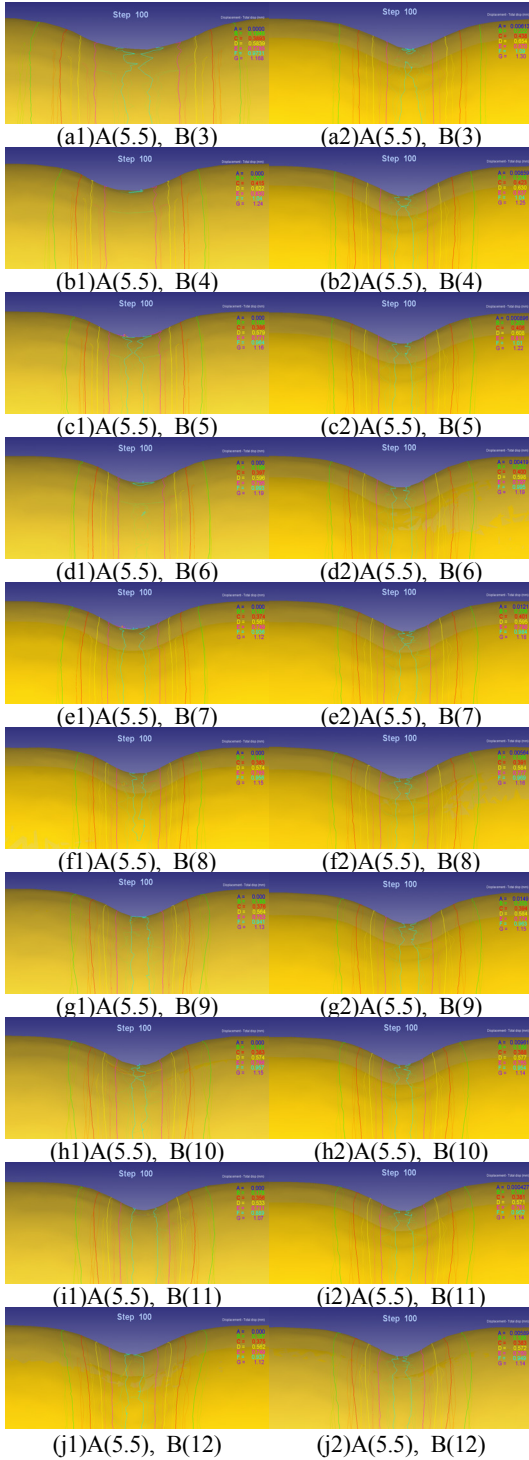


Fig. 3 Displacement on deformed copper pipe by roller (unit : mm)

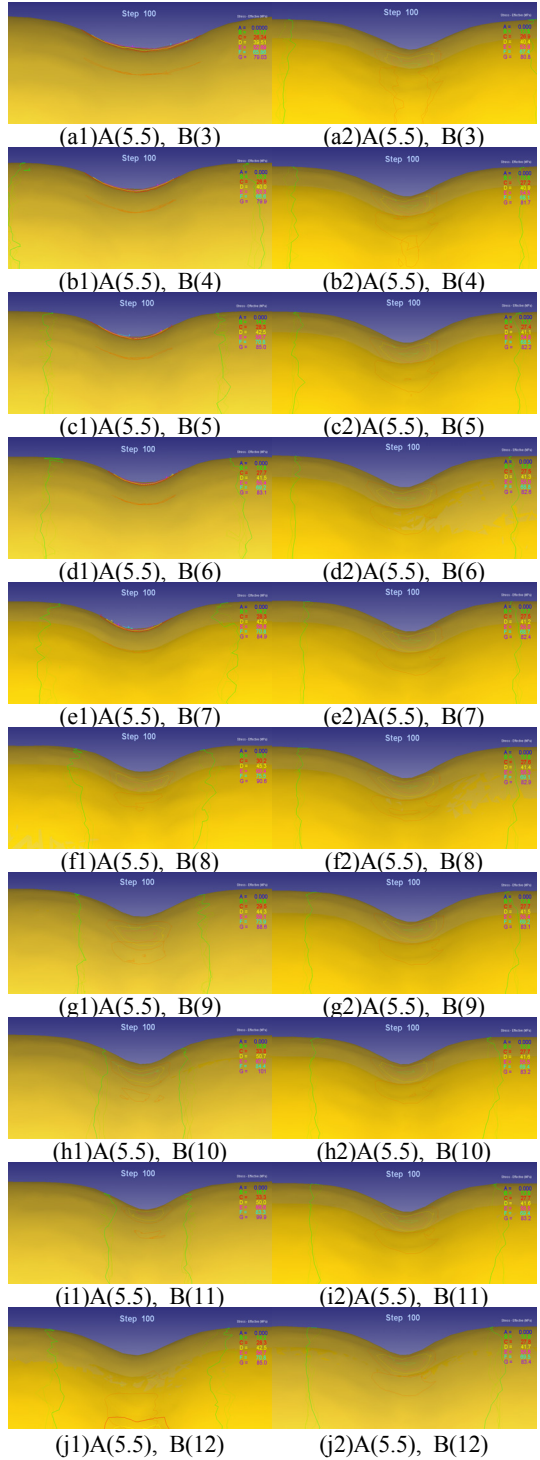


Fig. 4 Stress effective on deformed copper pipe by roller (unit : MPa)

넓은 접촉 길이에 의한 변형으로 집중 응력을 적게 받는 것으로 판단된다. 동관과 슬리브의 접촉 길이와 변형량 및 응력분포 등의 분석만으로 압착에 의한 이음효과가 보장된다고 확신할 수는 없다. 그러나 상대적으로 큰 곡률을 가지는 롤러 형상으로 슬리브를 변형시키면 이차 압착되는 동관과의 접촉 길이와 동관의 변형량은 증가하며 작은 응력분포를 형성하며 변형됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 동관의 이음에서 발생하는 인화성 문제를 해결할 수 있는 이단 압착식 이음 방법을 제안하였다. 압착식 이음장치를 3D 모델링으로 구현하고 동관과 슬리브의 압착을 10단계로 단계별 접촉부의 변형과 작용하는 응력을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 일차 압착된 동관의 변형된 형상은 롤러의 곡률 형상에 영향을 받아 변형된 슬리브 내측과 접촉하면서 변형이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

2) 이단 압착된 동관과 슬리브의 접촉 길이가 길어질수록 동관의 최대 변형 길이도 늘어남을 확인할 수 있었다.

3) 롤러 끝단의 곡률이 커지는 롤러 형상의 특성에 영향을 받아 넓은 접촉면적에 의한 변형으로 집중 응력을 적게 받는 것을 확인할 수 있었다.

4) 향후 연구에서는 보다 다양한 형태의 롤러 설계 후 접촉부를 분석하여 압착에 의한 무용접 이음 시스템의 효율성을 분석할 필요가 있다.

#### 후 기

이 논문은 2022학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

#### Author contributions

J. H. Jeong; Writing-review & editing, C. W.

Kim; Writing-original draft.

#### References

1. R. Shotri, L. Faes and A. De, 2020, "Magnetic pulse welding of copper to steel tubes- Experimental investigation and process modelling", *Journal of Manufacturing Processes*, 58, 249-258. (<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.07.061>)
2. A. Tavassolimanesh and A. A. Nia, 2018, "Investigating the properties of bimetallic aluminum-clad copper tubes produced by friction stir welding", *Journal of Alloys and Compounds*, 751, 299-306. (<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.04.117>)
3. S. Kannan, S. S. Kumaran and L. A. Kumaraswamidhas, 2016, "An investigation on mechanical property of commercial copper tube to aluminium 2025 tube plate by FWTPET process", *Journal of Alloys and Compounds*, 672, 674-688. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.02.205>)
4. H. C. Park, B. S. Kim and J. H. Jeong, 2018, "A study on Forming Analysis for Copper Pipe Bending Process Improvement", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 22(3), 60-65. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2018.22.3.060>)
5. H. C. Park, B. S. Kim and J. H. Jeong, 2019, "A study on Characteristics of Bending Deformation for the Copper Pipe", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 23(3), 51-56. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2019.23.3.051>)
6. H. C. Park and J. H. Jeong, 2022, "A Basic Study on Structural Design of Two-Stage Compression Fitting Device for Copper Pipe", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 23(3), 51-56. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2021.26.2.058>)